

Het wervelbed als nieuwe verbrandingstechniek

Citation for published version (APA):

Nieuwenhuizen, J. K. (1981). Het wervelbed als nieuwe verbrandingstechniek. *De Ingenieur*, 93(30/31), 15-17.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1981

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

Het wervelbed als nieuwe verbrandingstechniek

Welke methode ook wordt gebruikt, het onttrekken van energie aan steenkool vindt altijd plaats door de oxydatie van C. De oxydatie van C kan op twee manieren plaatsvinden:

- door conventionele verbranding, zoals dat al eeuwen wordt gedaan

- door gasificatie van steenkool met voldoende lucht tot een mengsel van methaan, waterstof, koolstofmonoxyde en eventueel zwaveldioxyde.

Het laatste proces schijnt het meest aantrekkelijk te zijn. Hierbij zijn de bezwaren tegen het gebruik van steenkool, die samenhangen met het feit dat het een vaste stof is, voor de eindverbruiker bijna nihil. Bovendien heeft dit proces uit milieu-hygiënisch oogpunt een aantal belangrijke voordelen en kan van de in ons land bestaande infrastructuur voor het transport en de distributie van gas gebruik worden gemaakt. Een combinatie van een gasificatie-installatie met een elektriciteitscentrale kan het rendement van een centrale verhogen van de huidige 38% tot ongeveer 42%.

De technologische principes van het gasificatieproces zijn zo goed als bekend en vormen op dit moment bijna geen probleem meer. Wat nog ontbreekt is betrouwbare apparatuur en de ervaring die noodzakelijk is om een operationele eenheid te bouwen. Het is waarschijnlijk dat de noodzakelijke ervaring tegen relatief lage kosten kan worden verkregen met wervelbedverbrandingseenheden; eerst bij atmosferische en later bij hogere drukken. Hierbij komen problemen naar voren die vergelijkbaar zijn met problemen die moeten worden opgelost alvorens gasificatie op grote schaal kan worden toegepast.

Prof. ir. J. K. Nieuwenhuizen*

De verbranding van steenkool is gecompliceerder dan de verbranding van gas of olie. Een eerste reden hiervoor is dat er een aanzienlijke hoeveelheid reststoffen in vaste vorm in de verbrandingskamer achterblijven. Bovendien zijn er in steenkool zo'n 50 componenten aanwezig die er de oorzaak van zijn dat er in het rookgas ongewenste bestanddelen kunnen voorkomen. Steenkool bevat zwavel, niet alleen in minerale vorm maar ook chemisch gebonden aan steenkool. Alle elementen, maar vooral zwavel, die een bedreiging vormen voor ons milieu, moeten uit de verbrandingsproducten worden verwijderd. Vloeibare en gasvormige brandstoffen kunnen relatief eenvoudig vóór de verbranding worden gereinigd; bij vaste brandstoffen is dit niet mogelijk, in dat geval moet het rookgas worden gereinigd.

Zwaveldioxyde kan in absorptiematerialen, zoals verschillende kalkhoudende gesteenten, worden gebonden. Gesteenten die hiervoor toegepast kunnen worden zijn kalksteen, mergel en dolomiet. Indien de deeltjes klein genoeg zijn en het contactoppervlak groot genoeg is wordt een belangrijk deel van de zwaveldioxyde in het gesteente in de vorm van CaSO_4 geabsorbeerd.

Een van de meest geschikte

* Prof. Nieuwenhuizen is hoogleraar bij de Vakgroep Fabrieks- en Apparatenbouw voor de Procesindustrie van de TH Eindhoven

methoden om een intensief contact tussen een gas en een vaste stof tot stand te brengen is om het gas en de vaste stof in een gefluïdiseerde toestand te brengen. Een mengsel van steenkool, zand en kalksteen kan in gefluïdiseerde toestand worden gebracht door er lucht door te blazen (wervelbed). Als een vuistregel kan men aannemen dat in het bed ongeveer 85% van het aanwezige SO_2 wordt gebonden als de moleculaire verhouding tussen Ca en S ongeveer 2 is. Afhankelijk van de toegepaste druk en de lucht-overmaat treedt de maximale SO_2 -reductie op bij temperaturen tussen 850 en 900 °C. Tengevolge van deze relatief lage temperaturen is de emissie van stikstofoxyden beperkt.

Het is aangetoond dat bij hogere drukken (4,5 bar) de emissie van stikstofoxyden nog lager is, terwijl bovendien nog meer SO_2 in het bed wordt gebonden.

In afbeelding 1 is schematisch een wervelbedverbrandingseenheid aangegeven. Het bed bestaat voor het grootste deel uit kalksteenproducten en voor ongeveer 1 tot 2% uit brandbare materialen. Typische eigenschappen voor een wervelbedverbrandingseenheid zijn:

- een zeer hoge warmteoverdracht in het bed zodat met eenvoudige koelpijpen in het bed 60% van de verbrandingswarmte kan worden onttrokken; per m^3 kan zo'n 1,2 tot 1,7 MW aan thermische energie worden opgewekt

- lage temperaturen in het bed, 750 tot 950 °C, zodat de vorming van stikstofoxyden laag blijft en de corrosie en erosie beperkt blijven

- bij deze temperaturen is de

affiniteit van Ca tot S zeer hoog

- tengevolge van de relatieve lage concentratie van C zijn er nauwelijks beperkingen aan de soorten steenkool die kunnen worden verstookt
- de menging in het bed is zeer goed zodat opwarmen en afkoelen minder tijd in beslag nemen dan men zou verwachten.

De eigenlijke oven bestaat uit een wervelbed dat wordt gedragen door een geperforeerde plaat. De lucht wordt onder de plaat aangevoerd door een grote ventilator en over de dwarsdoorsnede van het bed verdeeld. De druk onder de plaat is ongeveer 120 mbar, direct er boven ongeveer 100 mbar. Daarom wordt een dergelijke installatie een **atmosferische wervelbedverbrandingsinstallatie** genoemd. In het bed komt de lucht in contact met de steenkool waardoor deze verbrandt. Het rookgas verlaat het bed aan de bovenzijde. Een aanzienlijk deel van het vaste materiaal wordt door de lucht uit het bed gevoerd naar de ruimte boven het bed, de zgn. 'freeboard'. Een deel van de verbranding vindt in de freeboard plaats, dit kan oplopen tot 15% van het totaal. Een deel van het bedmateriaal gaat met de verbrandingsgasen naar buiten. Om milieutechnische redenen moeten deze deeltjes uit het gas worden verwijderd. Dit kan met cyclonen of zakfilters worden gedaan. De grote deeltjes blijven in de vorm van as in het bed achter. Het bed zal dan ook regelmatig vernieuwd moeten worden. Het toevoeren van steenkool aan het bed kan op twee manieren gebeuren. Het kan onder in het bed worden ingeblazen of het kan eenvoudig boven op het bed worden aangebracht. Deze

laatste methode is het meest eenvoudig. Er zijn echter ernstige beperkingen aan de deeltjesgrootte en het asgehalte. Indien de steenkool aan het bed wordt toegevoerd dan moet het zeer goed worden verdeeld.

Gewoonlijk wordt de steenkool in speciale molens vermalen tot een bepaalde korrelgrootte en gedroogd voordat het pneumatisch kan worden getransporteerd. De verbrandingswarmte kan worden onttrokken door middel van koelpijpen die in het bed zijn aangebracht en door convectiepijpen in de verbrandingsgassenstroom. Als over een groot deel van het regelbereik hoge stoomtemperaturen gewenst zijn of dat naverhitting gewenst is, dan is het noodzakelijk om in het bed een aantal naverhitters aan te brengen.

Het regelen van conventionele ovens gebeurt door regeling van de brandstoftoevoer of de lucht. Bij wervelbedinstallaties is regeling van de luchttoevoer niet mogelijk omdat deze lucht het bed in gefluidiseerde toestand moet houden. Bovendien mag de bedtemperatuur niet hoger dan 850 °C en niet lager dan 750 °C zijn om er zeker van te zijn dat voldoende SO₂ wordt gebonden. Hierdoor is het regelbereik van een wervelbed niet groter dan van 100 tot 75%. Indien een groter regelbereik gewenst is (wat meestal het geval is) dan kan dit worden gerealiseerd door het bed in secties te verdelen, die in- en uitgeschakeld kunnen worden. Dit leidt echter tot een gecompliceerd bedrijf en is uit economische redenen alleen toepasbaar bij grotere eenheden.

Een dergelijk bedrijf is echter erg traag en moet daarom niet als een realistisch perspectief worden gezien. Een derde regelmogelijkheid is om de luchttoevoer nagenoeg constant te houden en de steenkooltoevoer te verminderen. In dat geval moet er voor gezorgd worden dat het bed niet te veel afkoelt, zodat ook hier een deel van de koelpijpen bo-

ven het bed moet worden aangebracht. Een nadeel van dit systeem is dat door de grotere luchtvermaat het rendement terugloopt zodat deze regelmogelijkheid alleen voor kleinere eenheden zal worden toegepast.

Soorten en afmetingen

Wervelbedverbrandingsinstallaties kunnen worden geclassificeerd volgens:

- de manier waarop de warmte-overdracht wordt geregeld
- de plaats van de warmte-wisselaars
- de manier waarop brandstof wordt toegevoerd.

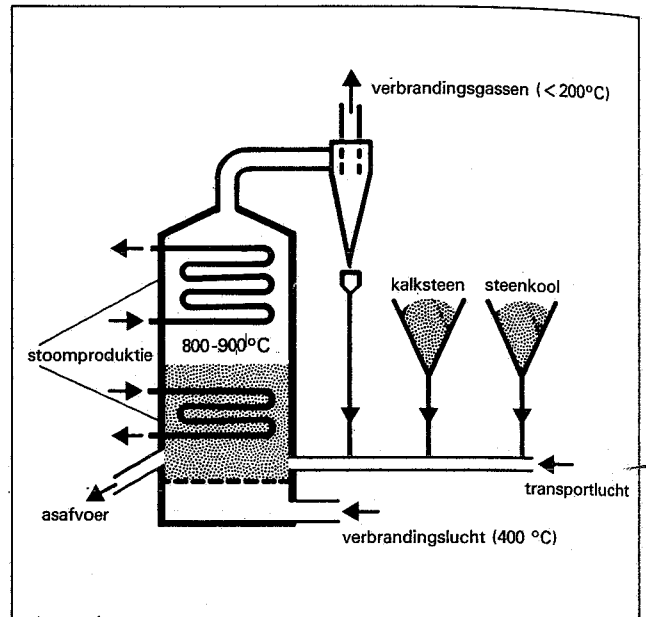
In het algemeen zal men een keuze moeten maken tussen een eenvoudige, goedkope en gemakkelijk te bedienen installatie of een installatie met een hoog rendement. Voor kleinere eenheden, tot 40 MWth, zal men de eenvoudigere installaties prefereren terwijl men voor grote eenheden een maximaal thermisch rendement eist. Voor zeer grote installaties, 250 - 350 MWth, spelen de afmetingen van het wervelbed een zeer belangrijke rol. Om dit oppervlak te beperken zijn er ketels ontworpen waarbij meerdere bedden boven elkaar zijn aangebracht.

Voor kleine wervelbedverbrandingsinstallaties zijn er nauwelijks beperkingen voor wat betreft de soort steenkool. Gewassen steenkool met een laag asgehalte bijv. kan worden toegepast in brokjes van 8 tot 25 mm. Deze grote brokken kunnen rechtstreeks boven op het bed worden toegevoerd, waardoor de steenkooltoevoer zo eenvoudig mogelijk is. Bij deze installaties zijn in het algemeen geen grote stoomdrukken nodig zodat de verbrandingskamer op dezelfde manier kan worden opgebouwd als een horizontale of verticale vlampijpketel. De combinatie van eenvoudige constructie en bediening levert een goedkope, betrouwbare eenheid op waarin verschillende soorten brandstof kunnen worden verstoofd.

Voor grote eenheden is een

hoog rendement over het hele bedrijfsgebied van groot belang tezamen met een zekere flexibiliteit t.a.v. de brandstoffen die kunnen worden verstoofd. De steenkool moet zodanig worden vermalen dat de as gefluidiseerd blijft; brokken van 6 mm schijnen een bovengrens te zijn. Het is niet mogelijk om deze fijn ver-

ke constructie alleen worden toegepast als het absoluut noodzakelijk is voor de warmte-overdracht. Onzekerheid over het gedrag van het pijpmateriaal bij deze hoge temperaturen en de erosieve procesomstandigheden maken het onmogelijk om een redelijke levensduur te garanderen. Stoomtemperaturen



Afbeelding 1: schema van een atmosferische wervelbedverbrandingsinstallatie

malen steenkool vanaf boven aan het bed toe te voeren omdat de steenkool dan onmiddellijk met de rookgassen wordt meegezogen. De steenkool wordt daarom geïnjecteerd in de luchtstroom en vanaf beneden in het bed geblazen.

Daar bij deze ovens een hoog rendement een eerste vereiste is kan de oven niet worden geregeld door variatie van de luchtvermaat. Het bed wordt daarom in 4 of meer segmenten verdeeld. Een regeling van 100 tot 75% is mogelijk door de hoeveelheid toegevoerde brandstof en lucht te verminderen. Voor een groter regelbereik moeten bedsegmenten worden uitgeschakeld.

Het ontwerp

Ofschoon het aanbrengen van een oververhitter in het bed erg aantrekkelijk is omdat de eenheid dan kleiner kan worden, kan een dergelij-

van 500 °C over het gehele regelgebied kunnen mogelijk als oververhitters in de freeboard worden aangebracht. Hierbij moet de oven wel zodanig zijn ontworpen dat regeling van de naverbranding in de freeboard mogelijk is. Om heel grote wervelbedverbrandingsinstallaties te kunnen bouwen zal er nog veel onderzoeks- en ontwikkelingswerk moeten worden verricht. Problemen die nog om een oplossing vragen zijn het gecompliceerde regelsysteem van een ketel met een gesegmenteerde bedopbouw en een goede regeling voor de steenkooltoevoer. De fabrikanten van deze installaties hebben schattingen gemaakt voor de investeringen en bedrijfskosten voor de grote installaties. Ze zijn hoger dan van een vergelijkbare conventionele ketel. Maar in vergelijking met een conventionele ketel waarbij rookgasontzwaveling wordt toegepast is een atmosferische

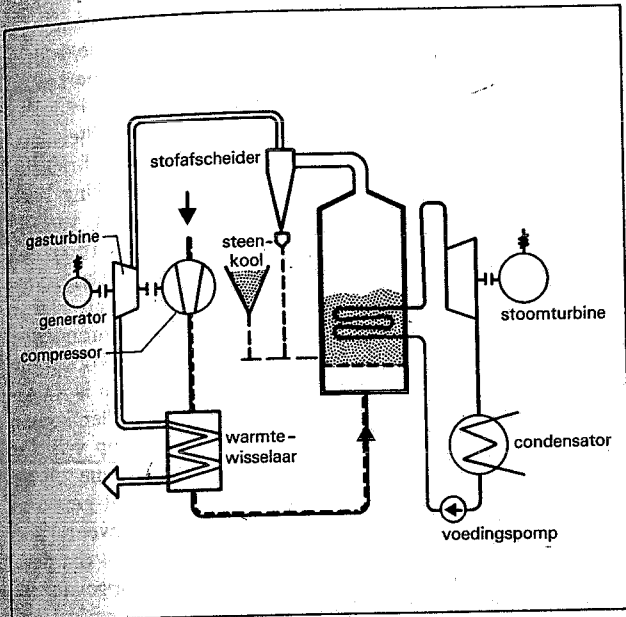
wervelbedverbrandingsinstallatie zowel wat betreft de investeringen en bedrijfskosten goedkoper.

Milieuconsequenties

Ofschoon wervelbedverbranding voor de reductie van de SO_2 en NO_x -emissies erg aantrekkelijk is heeft dit sys-

zegd dat in vergelijking met conventionele verbrandingsinstallaties wervelbedverbranding de volgende voordelen biedt:

- een SO_2 -reductie van 80 tot 90%
- een NO_x -reductie van 50%
- een betrekkelijke ongevoeligheid voor het type brandstof



Afbeelding 2: schema van een hoge-druk wervelbedverbrandingsinstallatie

teem toch een ernstig nadeel, nl. de grote hoeveelheid vaste stoffen die na de verbranding overblijft, zowel in de vorm van vlieg-as (in μm -gebied) als bed-as (in het mm -gebied). Het bestaat voornamelijk uit as vermengd met $CaSO_4$, CaO , $CaCO_3$ en verbrande spoorelementen. Hoewel door het hogere rendement van de wervelbedverbranding minder steenkool wordt verbruikt, weegt dit toch niet op tegen het feit dat per gewichtseenheid steenkool de hoeveelheid overblijvende as twee keer zo veel is als bij conventionele verbranding. Voor steenkool met een zwavelgehalte van 1%, moet voor elke ton geabsorbeerde SO_2 ongeveer 5 ton as worden verwijderd. Voor deze as kunnen echter nuttige toepassingen worden gevonden zoals grondstof voor de fabricage van cement en beton, voor de productie van isolatiemateriaal en bij de wegenbouw. Samen vattend kan worden ge-

- een zeer goede warmte-overdracht.
- Nadelen zijn:
 - de grote hoeveelheden reststoffen
 - lage capaciteit
 - slechte regelbaarheid.

Wervelbedverbranding bij hogere drukken

Het heeft vele voordelen om wervelbedverbranding toe te passen bij hogere dan atmosferische drukken (Pressurised Fluid Bed Combustion, PFBC). Er is dan wel extra energie nodig om de verbrandingslucht te comprimeren maar indien het gas in turbines goed wordt geëxpandeerd dan komt er meer mechanische energie vrij dan dat er bij de compressie verloren gaat. Andere voordelen zijn:

- ten gevolge van de grotere dichtheid van de verbrandingslucht en de verbrandingsgassen kunnen de afme-

tingen van de eenheid kleiner zijn. De extra kosten die ontstaan door de noodzakelijke grote wanddikten worden meer dan voldoende gecompenseerd door de kleinere afmetingen

- de vorming van NO , CO en SO_2 is zonder twijfel lager dan bij de atmosferische wervelbedverbranding.

In afbeelding 2 is het principe van een PFBC aangegeven. Het grootste probleem bij het ontwerp en bouw van een PFBC-installatie is zonder meer de expansieturbine. Indien geen voorzieningen worden getroffen om de verbrandingsgassen te reinigen wordt deze expansie gevoed door grote hoeveelheden corrosieve gassen, die ook een groot deel erosieve deeltjes bevatten. Men zal dus een keuze moeten maken tussen de ontwikkeling van een turbine die bestand is tegen dergelijke gassen of de ontwikkeling van een reinigingsinstallatie voor de gassen. Het is te verwachten dat men uit economisch oogpunt een combinatie van beide eenheden zal ontwikkelen: een reinigingssysteem dat redelijk effectief werkt en een turbine die bestand is tegen gassen met kleine verontreinigingen. In de petrochemische industrie heeft men reeds ervaring met dergelijke expansieturbines. Ook zijn er voor het reinigen van gassen cyclonen ontwikkeld die gekoppeld aan deze turbines bestand zijn tegen temperaturen van 650°C en die een levensduur van ca. 4 jaar hebben. De ontwikkeling van een goede expansieturbine is erg belangrijk omdat dit het belangrijkste element is voor de verbetering van het energetisch rendement. Het is bovendien erg belangrijk omdat men hier een economisch aantrekkelijke mogelijkheid heeft om turbines te ontwikkelen die te zijner tijd noodzakelijk zullen zijn in gasificatie-installaties die werken bij drukken van 30 bar of meer. Als men eenmaal het PFBC-proces kan beheersen dan moet het mogelijk zijn om gasturbines te bouwen met een PFBC-verbrander in plaats van een verbrandingskamer. Een dergelijke instal-

latie, die met steenkool gestookt kan worden, zou uitstekend kunnen worden gebruikt in elektrische centrales voor het opvangen van pieklasten. Momenteel worden daarvoor voornamelijk oliegestookte turbines gebruikt. Het kan zelfs mogelijk gebruikt worden dat men het dynamisch gedrag van een dergelijke installatie kan verbeteren door toevoeging van kolengas.

In samenwerking met de TH Delft en ECN treft Neratoom op dit moment voorbereidingen om een PFBC-proefinstallatie te bouwen. Deze installatie zal een capaciteit van 50 tot 60 MWth krijgen door per uur 7,5 ton steenkool te verbranden. Voordat deze installatie operationeel kan zijn zal men nog veel onderzoek moeten verrichten naar reinigingsinstallaties voor de verbrandingsgassen en naar materialen die gebruikt kunnen worden voor de schoepenwielen in de expansieturbines. ■